

ANALISIS UJI PEMADATAN STANDARD DAN UJI PEMADATAN MODIFIED TERHADAP NILAI KOEFISIEN PERMEABILITAS TANAH LEMPUNG BERKERIKIL

Masherni¹, Ferdi Sidiq Saputra²

Jurusan Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Metro
Jl. Ki Hajar Dewantara No. 166 Kota Metro Lampung 34111, Indonesia
Email : masherni@yahoo.com¹, ferdisidiqs@yahoo.com²

ABSTRAK

Tanah merupakan material yang sangat berpengaruh dalam suatu pekerjaan konstruksi. Sebagian besar wilayah Indonesia khususnya Lampung berada pada tanah lempung berkerikil pada suatu daerah-daerah tertentu. Dua pokok permasalahan tanah lempung adalah penurunan yang besar dan daya dukung tanah yang kecil. Salah satu usaha perbaikan tanah yang akan diteliti adalah melalui pemadatan tanah. Pemadatan adalah usaha secara mekanik untuk merapatkan butir-butir tanah. Pemadatan dilakukan untuk mengurangi volume tanah, mengurangi volume pori namun tidak mengurangi volume butir tanah.

Tujuan penelitian ini untuk menganalisis pemadatan tanah dengan dua metode pemadatan yang berbeda yaitu pemadatan *standard* dan pemadatan *modified* yang dilakukan di Laboratorium dan untuk mendapatkan nilai koefisien permeabilitas tanah lempung berkerikil yang nantinya akan diaplikasikan dalam bidang teknik sipil sebagai timbunan bangunan air seperti bendungan dan irigasi.

Tanah yang akan dilakukan pemadatan adalah tanah lempung berkerikil yang berasal dari Kelurahan Yosomulyo, Kecamatan Metro Pusat, Kota Metro. Penelitian meliputi sifat fisik dan mekanik tanah yaitu parameter pemadatan dan uji permeabilitas. Pengujian ini berpedoman pada ASTM untuk setiap pengujian. Variasi kedua pemadatan *standard* dan *modified* yaitu terletak pada berat tanah, jumlah pukulan dan jumlah lapisan tanah. Untuk uji permeabilitas dilakukan dengan menggunakan metode *Constand Head*.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa nilai maksimum koefisien permeabilitas diperoleh pada pemadatan *standard* yaitu dengan nilai rata-rata 1,9124E-06, pada pemadatan *modified* yaitu dengan nilai rata-rata 1,76457E-06. Dari hasil nilai koefisien permeabilitas ini nantinya akan diaplikasikan untuk bangunan air seperti pada bendungan, irigasi dan tanggul.

Kata Kunci : Tanah Lempung Berkerikil, Koefisien Permeabilitas Tanah.

PENDAHULUAN

Tanah lempung berkerikil merupakan jenis tanah yang didalamnya mengandung campuran antara lempung dan kerikil, pada kedalaman tertentu kita bisa menemukan tanah ini. Tanah jenis ini memiliki daya dukung yang rendah apabila dijadikan untuk tanah

dasar (*subgrade*) dalam pembangunan jalan. Maka untuk mengatasi hal tersebut perlu dilakukan perbaikan tanah atau penggantian tanah yang didatangkan dari lokasi lain. Tanah yang digunakan untuk material timbunan haruslah tanah yang memiliki spesifikasi tertentu, kalau tanah yang digunakan kurang baik maka perlu

dilakukan uji pemadatan untuk mengetahui nilai permeabilitas pada tanah tersebut.

Penelitian ini membahas serangkaian pemeriksaan dan pengujian dilaboratorium guna mencari solusi terhadap tanah lempung berkerikil dengan melakukan pengujian pemadatan. Melihat banyaknya tanah lempung berkerikil yang tidak dimanfaatkan, maka pada penelitian kali ini digunakan uji pemadatan. Pemadatan adalah proses dimana udara pada pori-pori tanah dikeluarkan dengan salah satu cara mekanis. Tujuan dari pemadatan tersebut yaitu untuk meningkatkan daya dukung tanah.

Tanah yang sudah dipadatkan akan diketahui besarnya nilai permeabilitas dilihat dari ukuran partikel, besarnya pori-pori pada tanah yang sudah dipadatkan. Makin kecil ukuran partikel, makin kecil ukuran pori-pori maka nilai permeabilitasnya akan semakin rendah. Jika tanahnya berlapis-lapis permeabilitas untuk ukuran sejajar lebih besar dari pada permeabilitas untuk ukuran tegak lurus. Permeabilitas tanah ditentukan oleh koefisien permeabilitasnya, nilai koefisien permeabilitas bergantung pada beberapa faktor yaitu viskositas cairan, distribusi ukuran pori, distribusi ukuran butiran, kekasaran partikel mineral dan derajat kejenuhan tanah.

TINJAUAN PUSTAKA

Definisi Tanah

Definisi tanah sangat umum dan luas, dalam lingkup teknik sipil dapat diartikan bahwa tanah merupakan material yang terdiri dari beberapa zat alam yang terbentuk dari pelapukan. Sesuai dengan yang dikemukakan oleh bapak tanah dunia Terzaghi yang mengemukakan pengertian tanah sebagai susunan butiran-butiran hasil pelapukan massa batuan massive, dimana ukuran setiap butirnya dapat

sebesar kerikil, pasir-lanau, lempung dan kotak antar butir tidak tersementasi termasuk bahan organik.

Partikel tanah tersusun dari partikel padat, air, dan udara. Dari ketiga unsur penyusun tanah tersebut yang paling berpengaruh terhadap sifat-sifat teknis tanah adalah air dan partikel padat. Angin hanya mengisi rongga yang terdapat dalam di dalam tanah. Jika rongga tersebut seluruhnya diisi oleh air maka tanah tersebut mencapai kondisi jenuh. Dalam kondisi jenuh jika tanah diberikan beban maka tekanan air yang pertama kali bekerja. Dalam kondisi ini butiran-butiran tanah lempung tidak dapat mendekat satu sama lain untuk meningkatkan gaya gesernya. Untuk mengeluarkan air dari dalam tanah, membutuhkan waktu yang lama. Namun, setelah waktu yang lama sampai air tanah keluar maka butiran-butiran tanah lempung akan dapat mendekat sehingga kuat geser tanah mengikat.

Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda, tetapi mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok dan subkelompok berdasarkan pemakaiannya. Sistem klasifikasi memberikan suatu bahasa yang mudah untuk menjelaskan secara singkat sifat - sifat umum tanah yang sangat bervariasi tanpa penjelasan yang terinci. Sistem klasifikasi tanah dibuat pada dasarnya untuk memberikan informasi tentang karakteristik dan sifat - sifat fisis tanah. Karena variasi sifat dan perilaku tanah yang begitu beragam, sistem klasifikasi secara umum mengelompokkan tanah ke dalam kategori yang umum dimana tanah memiliki kesamaan sifat fisis. Sistem klasifikasi bukan merupakan sistem identifikasi untuk menentukan sifat - sifat mekanis dan geoteknis tanah. Karenanya, klasifikasi tanah bukanlah satu-satunya cara yang

digunakan sebagai dasar untuk perencanaan dan perancangan konstruksi.

Terdapat dua sistem klasifikasi tanah yang umum digunakan untuk mengelompokkan tanah. Kedua sistem tersebut memperhitungkan distribusi ukuran butiran dan batas-batas *atterberg*, sistem-sistem tersebut adalah sistem klasifikasi AASHTO dan USCS. (Sutarman, 2009)

Tanah Lempung Berkerikil

Tanah lempung berkerikil merupakan tanah yang mempunyai nilai kohesif karena didalamnya mengandung campuran antara lempung dan kerikil, pada tanah ini mengandung plastisitas rendah sampai dengan sedang. Apabila mempunyai sifat setengah fraksi kasar > 50% maka tanah tertahan pada saringan no.4 dengan ukuran 101,6 mm. Kerikil yang lebih dari setengah fraksi kasar lebih besar dari saringan no. 4. Klasifikasi visual, butir ukuran 6 mm dapat dipergunakan sebagai ekivalen dari ukuran saringan no.4. Pada kerikil berbutir halus yaitu adanya butir halus yang cukup banyak diantaranya butir halus tidak plastis dan butir halus plastis.

Hukum Darcy

Hukum Darcy (1856) menjelaskan tentang kemampuan air mengalir pada rongga-rongga (pori-pori) dalam tanah dan sifat-sifat yang mempengaruhinya. Ada dua asumsi utama yang digunakan dalam penetapan Hukum Darcy ini. Asumsi pertama menyatakan bahwa aliran fluida/cairan dalam tanah bersifat laminar. Sedangkan asumsi kedua menyatakan bahwa tanah berada dalam keadaan jenuh. Menurut Darcy (1856), kecepatan aliran air di dalam tanah dinyatakan dengan persamaan :

$$v = k \cdot i$$

dengan :

v = kecepatan aliran (m/s atau cm/s)

k = koefisien permeabilitas

i = gradient hidraulik

Lalu telah diketahui bahwa :

$$V = \frac{Q}{A \cdot t} \quad \text{dan} \quad i = \frac{\Delta h}{L}$$

Dengan :

Q = debit konstan, air yang dituangkan ke dalam sumur uji (cm^3/dt)

A = luas penampang aliran (m^2 atau cm^2)

t = waktu tempuh fluida sepanjang L (s/detik)

Δh = selisih ketinggian (m atau cm)

L = panjang daerah yang dilewati aliran (m atau cm).

Permeabilitas

Permeabilitas dapat diartikan sebagai kemampuan fluida atau zat cair untuk mengalir melalui zat lain yang berpori dan bisa juga dikatakan bahwa permeabilitas merupakan kemampuan suatu zat untuk meloloskan air melalui pori yang dimilikinya. Bowles (1989) mengatakan bahwa kemampuan fluida untuk mengalir melalui medium yang berpori adalah suatu sifat teknis yang disebut permeabilitas. sedangkan Hardiyatmo (1992) berpendapat bahwa permeabilitas dapat didefinisikan sebagai sifat bahan yang memungkinkan aliran rembesan zat cair mengalir melalui rongga pori. Satuan permeabilitas adalah m^2 . Pada umumnya pada reservoir panas bumi, permeabilitas vertikal berkisar antara 10^{-14} m^2 , dengan permeabilitas horizontal dapat mencapai 10 kali lebih besar dari permeabilitas vertikalnya (sekitar 10^{-13} m^2). Satuan permeabilitas yang umum digunakan di dunia perminyakan adalah Darcy (1 Darcy = 10^{-12} m^2).

Permeabilitas suatu massa tanah penting untuk :

1. Mengevaluasi jumlah rembesan (*seepage*) yang melalui bendungan dan tanggul sampai ke sumur air.
2. Mengevaluasi gaya angkat atau gaya rembesan di bawah struktur hidrolik untuk analisis stabilitas.
3. Menyediakan kontrol terhadap kecepatan rembesan sehingga partikel tanah berbutir halus tidak tererosi dari massa tanah.
4. Studi mengenali laju penurunan (*konsolidasi*) dimana perubahan volume tanah terjadi pada saat air tersingkir dari rongga tanah pada saat proses terjadi pada suatu gradien energi tertentu.
5. Mengendalikan rembesan dari tempat penimbunan bahan-bahan limbah dan cairan-cairan sisa yang mungkin berbahaya bagi manusia.

Koefisien Permeabilitas

Koefisien permeabilitas dapat didefinisikan sebagai kecepatan air melalui satu unit luasan tanah pada satu unit *hydraulic*, dimana *hydraulic gradient* (*i*) adalah kehilangan tekanan air (*head*) per unit lintasan air (*L*).

Hukum Darcy menunjukkan bahwa permeabilitas tanah ditentukan oleh koefisien permeabilitasnya. Koefisien permeabilitas tanah bergantung pada beberapa faktor setidaknya ada enam faktor utama yang mempengaruhi permeabilitas tanah, yaitu :

1. Viskositas cairan, semakin tinggi viskositasnya, koefisien permeabilitas tanahnya semakin kecil.
2. Distribusi ukuran pori, semakin merata distribusi ukuran porinya, koefisien permeabilitasnya cenderung semakin kecil.

3. Distribusi ukuran butiran, semakin merata distribusi ukuran butirannya, koefisien permeabilitasnya cenderung semakin kecil.
4. Rasio kekosongan (*void*), semakin besar rasio kekosongannya, koefisien permeabilitas tanahnya akan semakin tinggi.
5. Semakin besar partikel mineralnya, semakin kasar partikel mineralnya, koefisien permeabilitas tanahnya akan semakin tinggi.

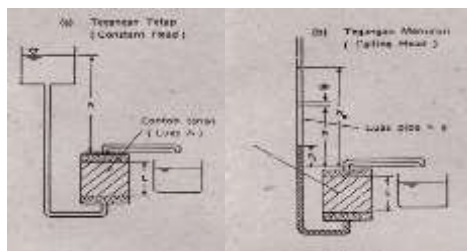
Derajat kejenuhan tanah, semakin jenuh tanahnya koefisien permeabilitas tanahnya akan semakin tinggi.

Koefisien permeabilitas dapat ditentukan secara langsung di lapangan ataupun dengan cara lebih dahulu mengambil contoh tanah di lapangan dengan menggunakan tabung contoh kemudian diuji di laboratorium.

Uji Permeabilitas Tanah Di Laboratorium

Untuk menentukan koefisien permeabilitas di laboratorium, ada dua macam cara pengujian yang sering digunakan, yaitu Uji Tinggi Energi Tetap (*Constant Head*) dan Uji Tinggi Energi Turun (*Falling Head*).

Uji permeabilitas *Constant Head* cocok untuk tanah granular, seperti pasir, kerikil atau beberapa campuran pasir dan lanau. Uji permeabilitas *Falling Head* cocok digunakan untuk mengukur permeabilitas tanah berbutir halus. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode *Constant Head*, karena contoh tanah yang digunakan adalah tanah lempung berkerikil.



Gambar 1. Alat Untuk Pengujian Permeabilitas di Laboratorium

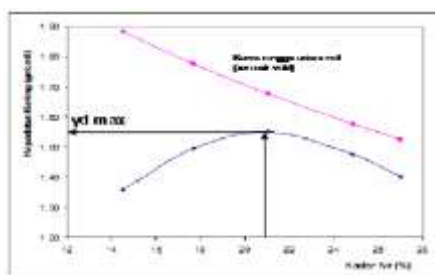
Pemadatan

Pemadatan adalah usaha secara mekanik untuk merapatkan butir-butir tanah. Pemadatan dilakukan untuk mengurangi volume tanah, mengurangi volume pori namun tidak mengurangi volume butir tanah.

Tujuan dari pemadatan ini adalah :

1. Memperbaiki kuat geser tanah.
2. Mengurangi kompresibilitas tanah.
3. Mengurangi permeabilitas tanah.
4. Mengurangi perubahan volume sebagai akibat perubahan kadar air.

Pemadatan ini bermaksud untuk mengurangi volume tanah. Akibat dari pengurangan volume tanah tersebut adalah volume tanah yang berubah. Volume tanah akan berkurang dari volume awalnya, nilai C (kohesif tanah) berkurang dan nilai e (angka pori tanah) juga ikut berkurang.



Gambar 2. Grafik Nilai Optimum Air

Pemadatan dapat dilakukan dengan dua cara berdasarkan besar tenaga pematatnya, yaitu :

- a. Uji Pemadatan *Standard Proctor*
- b. Uji Pemadatan *Modified Proctor*

METODE PENELITIAN

Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan Jenis data pada penelitian ini dikelompokkan menjadi 2 yaitu data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh dari uji bahan secara langsung. Sedangkan data sekunder merupakan berupa data-data hasil dari penelitian/pengujian. Adapun proses penelitian ini dilakukan dengan tahapan – tahapan sebagai berikut:

1. Pengambilan contoh.
2. Pengujian contoh tanah lempung berkerikil dengan menggunakan 2 metode.

Peralatan Pengujian dan Bahan Penelitian

Sampel tanah yang diuji pada penelitian ini yaitu tanah lempung berkerikil yang berasal dari Kelurahan Yosomulyo, Kecamatan Metro Pusat, Kota Metro.

Semua pengujian yang akan dilakukan berlokasi di Laboratorium Mekanika Tanah Teknik Sipil Universitas Lampung. Pengujian yang akan dilaksanakan adalah:

1. Pengujian sifat fisik tanah
 - a. Pengujian Analisa Saringan
 - b. Pengujian Kadar Air
 - c. Pengujian Berat Jenis
2. Pengujian Pemadatan Tanah
3. Pengujian sifat permeabilitas tanah

Pengolahan Dan Analisis Data Hasil Pengujian

1. Pengolahan Data Hasil dari penelitian yang berupa data-data tanah diolah menurut klasifikasi yang ada. Pengklasifikasian dilakukan sesuai dengan rumus-rumus yang berlaku. Hasil dari pengklasifikasian tersebut diuraikan dalam bentuk tabel dan grafik.
2. Analisis Data

Dari rangkaian pengujian yang dilakukan di laboratorium, maka :

- a) Dari persentase pembagian ukuran butiran tanah. uji analisa saringan diperoleh
- b) Dari uji kadar air diperoleh kadar air dalam persentase.
- c) Dari uji berat jenis diperoleh berat jenis tanah.
- d) Dari uji pemadatan *standard* dan pemadatan *modified*.
- e) Dari uji permeabilitas dengan metode *Constan Head* dengan cara pemadatan *standard* dan *modified*.

Dengan menggunakan parameter-parameter yang telah didapat maka sampel tanah dapat dikelompokkan ke dalam salah satu jenis tanah menurut *unified*.

Kemudian akan dilakukan uji pemadatan untuk mendapatkan nilai optimum air yang kemudian akan digunakan sebagai nilai optimum air saat pemadatan tanah pada tanah lempung berkerikil.

Tanah lempung berkerikil dilakukan uji kadar air optimum dipadatkan dengan menggunakan dua cara pemadatan *standard* dan *modified*. Jadi, setiap sampel akan dilakukan pemadatan dengan dua cara pemadatan. Uji permeabilitas tanah dilakukan terhadap seluruh sampel yang berjumlah 3 sampel. Dengan setiap sampel yang mengalami perlakuan pemadatan dua kali yaitu dengan metode *standard* dan *modified*, maka nilai *k* dari setiap sampel yang didapatkan berjumlah 5, karena pembacaan dilakukan sebanyak 5 kali. Nilai *k* dari sampel yang telah diperoleh yang akan dibandingkan untuk dianalisis.

PEMBAHASAN DAN HASIL

Dari hasil penelitian yang dilakukan dapat diperoleh hasil pemadatan

standard dan pemadatan *modified* dengan metode *constan head* sangat berpengaruh terhadap nilai permeabilitas tanah.

Pada pemadatan *standard* nilai permeabilitas cenderung lebih besar dibandingkan dengan pemadatan *modified*, hubungannya dengan aplikasi di pekerjaan teknik sipil.

Nilai permeabilitas pada timbunan untuk perkerasan jalan (*subgrade*) dibutuhkan tanah dengan nilai permeabilitas tinggi sedangkan untuk jenis model tanah yang digunakan untuk tanggul dan bendungan di butuhkan lapisan tanah yang memiliki nilai permeabilitas rendah. Hal ini disebabkan oleh jumlah presentase dari pori tanah dan kandungan bahan organik yang menyebar didalam penampang tanah. Salah satu faktor yang mempengaruhi nilai koefisien permeabilitas tanah korelasinya terhadap metode pemadatan adalah pemadatan *standard* dan pemadatan *modified*. Pengaruh metode pemadatan tanah terhadap nilai koefisien permeabilitas yang telah dilakukan dapat dilihat pada table 1 berikut ini :

| No. | Cara Pemadatan | Tanah 1 | Tanah 2 | Tanah 3 | Nilai rata-rata |
|-----|-----------------|-------------|-------------|-------------|-----------------|
| 1. | <i>Standard</i> | 1,92498E-06 | 1,89667E-06 | 1,91555E-06 | 1,9124E-06 |
| 2. | <i>Modified</i> | 1,74569E-06 | 1,79288E-06 | 1,75513E-06 | 1,76457E-06 |

Sumber : hasil perhitungan di laboratorium

Dari Tabel tersebut dapat dijelaskan hasil dari pemadatan *modified* nilai permeabilitas lebih rendah dibandingkan dengan pemadatan *standard* pada setiap sampel tanah. Dari kedua hasil pengujian tersebut nilai permeabilitas tertinggi di peroleh pada pengujian *constan head* metode pemadatan *standard* dengan rata-rata $1,9124 \times 10^{-6}$.

Hasil dari metode pemadatan nilai tertinggi koefisien permeabilitas tanah lempung berkerikil nantinya dapat

diaplikasikan untuk tanah dasar (*subgrade*) pada perkerasan jalan. Karena pada perkerasan jalan nilai permeabilitas tanah harus memiliki daya dukung tinggi, untuk mengalirkan air melalui pori-pori pada tanah itu sendiri. Untuk hasil pemadatan nilai permeabilitas rendah dapat dimanfaatkan untuk bendungan dan tanggul yang memiliki angka permeabilitas cenderung lebih rendah. Karena pada bendungan dan tanggul tanah yang dibutuhkan harus memiliki pori-pori tanah yang lebih kecil, agar supaya mencegah air mengalir melalui tanah tersebut.

Dari hasil korelasi kedua metode pemadatan tersebut, dapat diketahui nilai koefisien permeabilitas tanah pada sampel penelitian tergolong rendah. Untuk aplikasi di bidang teknik sipil, tanah yang memiliki nilai permeabilitas rendah secara teknis baik jika digunakan untuk timbunan pada bangunan air seperti bendungan, irigasi dan tanggul. Hal ini disebabkan karena pada bangunan air tanah timbunan yang digunakan harus memiliki pori-pori tanah yang kecil, agar air tidak bisa mengalir atau merembes melalui pori-pori dalam tanah tersebut. Maka nilai permeabilitas tanah khususnya untuk timbunan pada bangunan air sebaiknya menggunakan tanah yang memiliki nilai permeabilitas rendah.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil pemadatan yang sudah dilakukan dengan dua pemadatan yang berbeda yaitu pemadatan *standard* dan pemadatan *modified* terhadap nilai koefisien permeabilitas dapat kita lihat pada table 2 berikut :

| No. | Cara Pemadatan | Tanah 1 | Tanah 2 | Tanah 3 | Nilai rata-rata |
|-----|-----------------|-------------|-------------|-------------|-----------------|
| 1. | <i>Standard</i> | 1,92498E-06 | 1,89667E-06 | 1,91555E-06 | 1,9124E-06 |
| 2. | <i>Modified</i> | 1,74569E-06 | 1,79288E-06 | 1,75513E-06 | 1,76457E-06 |

Sumber : hasil perhitungan di laboratorium

Dari hasil penelitian yang dilakukan dapat dianalisis bahwa pemadatan *standard* dan pemadatan *modified* dengan metode *constan head* sangat berpengaruh terhadap nilai permeabilitas tanah. Pada pemadatan *standard* nilai permeabilitas cenderung lebih besar dibandingkan dengan pemadatan *modified*. Untuk aplikasi di bidang teknik sipil, tanah yang memiliki nilai permeabilitas rendah secara teknis baik jika digunakan untuk timbunan pada bangunan air seperti bendungan, irigasi dan tanggul. Hal ini disebabkan karena pada bangunan air tanah timbunan yang digunakan harus memiliki pori-pori dalam tanah tersebut. Maka nilai permeabilitas tanah khususnya untuk timbunan pada bangunan air sebaiknya menggunakan tanah yang memiliki nilai permeabilitas rendah.

Saran

Untuk penelitian kedepan sebaiknya menggunakan jenis tanah yang lebih baik supaya jika nilai permeabilitas lebih besar dapat digunakan untuk tanah timbunan dalam perkerasan jalan (*subgrade*), jika nilai permeabilitas nya lebih kecil dapat kita manfaatkan untuk bendungan. Hal itu juga dipengaruhi oleh jenis pemadatan tanah.

Penelitian yang lebih luas dan komprehensif masih diperlukan supaya hasil dari penelitian tersebut dapat dimanfaatkan dengan maksimal. Dengan penelitian kedepannya agar lebih memperluas manfaat dan kegunaan tanah lempung berkerikil.

Perlu adanya penelitian lanjutan terhadap jenis tanah lempung berkerikil, selain pemadatan tanah perlu dilakukan pengujian seperti kuat geser dan pengujian geometri agar dapat dimanfaatkan dengan lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Bowles 1989, *Sifat-sifat Fisik dan Geoteknis Tanah*. Erlangga Jakarta.
- Braja M. Das 1998, *Mekanika Tanah (Prinsip - prinsip Rekayasa Geoteknik)*, Erlangga Jakarta.
- Gogot Setyo Budi 2011, *Pengujian Tanah di Laboratorium*, Graha Ilmu Bandung.
- Hary Christady Hardiyanto 1996, *Mekanika Tanah I dan II*. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Lucio anonica 1996, *Memahami Mekanika Tanah*, Angkasa Bandung.
- SNI 03-1964-1990, *Metode pengujian tentang berat jenis tanah*.
- SNI 03-1966-2008, *Metode pengujian tentang analisa saringan*.
- SNI 03-1971-1990, *Metode pengujian tentang kadar air tanah*.